



SUPPORTING ORGANISATION OF



ITMA 2019

REVISTA DE
**QUÍMICA E
INDUSTRIA TEXTIL**

ORGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE QUÍMICOS Y COLORISTAS TEXTILES
Nº 230 / OCTUBRE 2019

www.aeqct.org

Miembro de la FIAQCT

Miembro Adherido a la FLAQT

Con la colaboración de TEXFOR

FD TEXTIL

En **Ferrer-Dalmau** llevamos
más de 100 años
coloreando la industria

MAQUINARIA PARA LA INDUSTRIA TEXTIL



HILATURA



TEJEDURÍA



ACABADOS



NO-TEJIDO

fdtextil.es

Sumario

Revista de Química e Industria Textil • Núm. 230 •



La Revista de Química e Industria Textil con cuatro números anuales, pretende informar sobre las novedades tanto nacionales como internacionales relacionadas con el sector textil. Se distribuye de forma gratuita a los asociados de la AEQCT. La publicación en la misma es abierta a cualquier persona que considere que puede aportar información relevante al sector. La propuesta de publicación de artículos, comunicaciones y notas se deberán redactar siguiendo las instrucciones de autor publicadas en la página web de la asociación www.aeqct.org y dirigir al equipo editorial de la revista vía correo electrónico a la dirección aeqct@aeqct.org. Los autores son los responsables de las ideas y opiniones expresados. Los trabajos recibidos serán asignados a un editor quien definirá dos revisores del trabajo. La aceptación del trabajo recaerá sobre el equipo editorial. Los trabajos aceptados serán revisados por el autor y remitidos en el plazo de 15 días.

Depósito legal: B6382-66
ISSN: 2385-4804 (Ed. impresa)
ISSN: 2385-4812 (Internet)

EDITOR

Asociación Española de Químicos y Coloristas
Textiles (AEQCT)

DIRECTOR

Carlos Aguilar Peyra

EQUIPO EDITORIAL

M^a Ángeles Bonet, Antònia Domínguez,
Manel Lis, Meritxell Martí, Josep Simón

REDACCION Y ADMINISTRACION AEQCT

Pl. Espanya s/n - 08004 Barcelona
Tel. (+34) 93 233 2087
www.aeqct.org · e-mail: aeqct@aeqct.org

- 5** Editorial: ¿La manufacturera textil es negocio?
R. Prat
- 7** VII Reunión Brainstorming
- 8** Noticias de la AEQCT
- 10** Agradecimiento ITMA-AEQCT
- 11** ITMA Textile Colourant & Chemical Leaders Forum
M. Martí
- 14** IFATCC Congress
- 15** Estudio comparativo del comportamiento al envejecimiento acelerado en tejidos de algodón-poliéster tratados con resinas de diferente naturaleza.
P. Martí
- 23** Tintura de algodón con extracto de té negro para el incremento de la protección frente a la radiación solar
J. C. Payá
- 32** Síntesis, caracterización y validación aplicativa de un poliuretano bio-basado en dispersión acuosa para el sector de recubrimientos textiles.
A. Lacruz, M. Salvador, J. Aliaga, A. Martínez
- 37** Optimización del proceso cotonización de cáñamo para sustratos textiles
G. Mijas, M. Rafael, F. Cano, M. Lis, A. M. Manich y D. Cayuela
- 40** Ferrer-Dalmau Textil y sus representadas presentan sus novedades en la ITMA 2019
- 45** EIGENMANN & VERONELLI su interlocutor para las tecnologías MICROBAN
- 47** BAYGUARD BCS de TANATEX
- 48** Entidades protectoras.
- 49** AITEX desarrolla nuevas soluciones con aplicaciones en el ámbito laboral.
- 50** Informe Económico de la Moda en España 2019
- 52** TEXmoda
- 53** Entrevistas a nuestras empresas protectoras: aitex, eurofins, laboratorios eyco.
- 57** Mini anuncios
- 60** Participación activa del asociado.
- 61** Los jóvenes opinan: Mi primera experiencia en ITMA
- 63** Boletín de inscripción como empresa protectora.
- 64** Boletín de inscripción como asociado.



Síntesis, caracterización y validación aplicativa de un poliuretano bio-basado en dispersión acuosa para el sector de recubrimientos textiles.

Amado Lacruz Cruz¹, Mireia Salvador Ibáñez¹, Josep Aliaga Parera¹, Antxon Martínez de Ilarduya².

¹ Color Center, S.A., Ptge. Marie Curie 3, 08223 Terrassa (España).

² Departament d'Enginyeria Química. Universitat Politècnica de Catalunya, ETSEIB, Diagonal 647, 08028 Barcelona, España.

RESUMEN

En este trabajo se ha sintetizado un poliuretano en dispersión acuosa (WPU) a partir de poli-1,3-propilenglicol (PO3G) y un dímero-diol (Pripol 2033) ambos procedentes de fuentes 100% renovables, diisocianato de isofozona (IPDI) y ácido dimetilolbutanoico (DMBA). La selección de building-blocks bio-basados ha permitido obtener un poliuretano con un contenido renovable cercano al 70%. En la etapa de síntesis se han utilizado catalizadores exentos de estaño y cosolventes no derivados de alquilpirrolidona. Finalmente se ha realizado la caracterización estructural del poliuretano obtenido, se han evaluado sus propiedades térmicas, mecánicas y aplicativas y se ha realizado una comparativa con varias dispersiones de poliuretano comerciales no bio-basadas ampliamente utilizadas en el sector de recubrimientos textiles.

Palabras clave: poliuretano en dispersión acuosa (WPU), bio-basado, ECO-diseño, propiedades térmicas, propiedades mecánicas, recubrimientos textiles, presión hidrostática, química verde.

ABSTRACT

In this work, a waterborne polyurethane dispersion (WPU) was synthesized from poly-1,3-propylene glycol (PO3G) and a dimer-diol (Pripol 2033) both from 100% renewable sources, isophorone diisocyanate (IPDI) and dimethylolbutanoic acid (DMBA). The selection of bio-based building-blocks has allowed to obtain a polyurethane with a renewable content close to 70%. Tin-free catalysts and cosolvents not derived from alkyldipyrrolidone have been used in the synthesis step. Finally, the structural characterization of the polyurethane obtained has been carried out, its thermal, mechanical and application properties have been evaluated and a

comparison has been made with several non-bio-based commercial polyurethane dispersions widely used in the textile coatings sector.

Keywords: waterborne polyurethane (WPU), bio-based, Eco-design, thermal properties, mechanical properties, textile coating, hydrostatic pressure, green chemistry.

INTRODUCCIÓN

Los poliuretanos son materiales muy versátiles y de amplia utilización en sectores industriales diversos como recubrimientos, adhesivos, elastómeros, materiales de construcción, tejidos técnicos, dispositivos médicos, etc. Tanto las propiedades químicas como mecánicas y de barrera de este tipo de materiales pueden modularse con precisión a partir de la adecuada selección de los building-blocks de partida y de la estrategia de síntesis.

La síntesis de poliuretanos es una reacción de poliadición entre un poliol, un isocianato y un extensor de cadena. Tradicionalmente esta reacción se lleva a cabo en medio solvente, empleando disolventes como la acetona, dimetilformamida o metiletil cetona, que proporcionan importantes ventajas de procesamiento como la baja viscosidad y facilidad de manipulación. Asimismo, suelen emplearse catalizadores basados en estaño, como por ejemplo el dilaurato de dibutilestaño (DBTDL) y building-blocks procedentes de fuentes no renovables (petróleo). Sin embargo, las crecientes exigencias medioambientales y la legislación vigente en muchos países están propiciando que, ya desde hace varias décadas, se estén invirtiendo importantes esfuerzos en la síntesis de dispersiones de poliuretano ECO-diseñadas^{1,2}. Color Center, S.A., en el marco del proyecto ECO-PUD cofinanciado por Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), ha desarrollado algunos prototipos que vienen a dar respuesta a las

exigencias de sostenibilidad y seguridad requeridas en la mayoría de mercados a nivel mundial³.

En este trabajo se ha sintetizado un poliuretano en dispersión acuosa (WPU) a partir de poli-1,3-propilenglicol (PO3G) y un dímero-diol (Pripol 2033) ambos procedentes de fuentes 100% renovables, diisocianato de isoforona (IPDI) y ácido dimetilolbutanoico (DMBA). La selección de building-blocks bio-basados nos ha permitido la obtención de un poliuretano con un contenido renovable cercano al 70%. El PO3G se obtiene a partir de 1,3-propilenglicol procedente de la fermentación de la glucosa (Bio-PDO)⁴, por otro lado el Pripol 2033 es un macrodiol de altas prestaciones procedente de la dimerización de alcoholes grasos de origen natural⁵. Así pues, la utilización de estos polioles de origen 100% renovable nos ha permitido reducir la huella de carbono del poliuretano resultante. Además, tal y como se verá a lo largo del presente trabajo, las prestaciones del poliuretano bio-basado obtenido están en línea con las de otros poliuretanos comerciales convencionales⁶.

Los criterios para la selección de los building-blocks empleados en este trabajo se resumen a continuación. El PO3G se seleccionó con el objetivo de aportar buenas propiedades mecánicas y estabilidad a la hidrólisis, al tratarse de un poliéter-poliol. Pripol 2033 confiere flexibilidad, estabilidad hidrolítica, hidrofobicidad y buena estabilidad térmica y oxidativa. El IPDI es un diisocianato de gran versatilidad, al ser alifático presenta bajo amarilleo (característica imprescindible en la mayoría de poliuretanos para recubrimiento textil), además tiene un perfil eco-toxicológico más favorable en comparación con otros diisocianatos. El DMBA se utiliza como alternativa al más comúnmente empleado DMPA (ácido dimetilolpropanoico) por su mayor solubilidad en los polioles de partida, permitiendo alcanzar los índices de NCO teóricos con menos tiempo de reacción (ahorro energético).

Adicionalmente, cabe remarcar que, siguiendo criterios de ECO-diseño, en la etapa de síntesis se han utilizado catalizadores exentos de estaño y bajas cantidades de cosolventes no derivados de alquilpirrolidona. Finalmente se ha realizado la caracterización estructural del poliuretano obtenido, se han evaluado sus propiedades mecánicas, térmicas y aplicativas y se ha realizado una comparativa con varias dispersiones de poliuretano comerciales no bio-basadas ampliamente utilizadas en el sector de recubrimientos textiles.

En este trabajo se presentan algunos de los resultados obtenidos en el marco del proyecto ECO-PUD, poniéndose de manifiesto la viabilidad técnica de los poliuretanos bio-basados en el sector de los recubrimientos textiles.

SECCIÓN EXPERIMENTAL

Materiales

Poli-1,3-propilenglicol (PO3G), cortesía de Allessa GmbH. Pripol 2033, Isap.: 0,5 mgKOH/g, lac.: 0,01 mgKOH/g, IOH: 211 mgKOH/g, cortesía de Croda Iberica. Los polioles fueron secados a vacío durante 3h antes de su utilización. Diisocianato de isoforona (IPDI, Vestanat IPDI) cortesía de Evonik Industries AG. Ácido dimetilolbutanoico (DMBA), trietilamina (TEA) y etilendiamina (EDA) procedentes de Sigma Aldrich, fueron utilizados tal como se recibieron.

SÍNTESIS

La síntesis se realizó por el método del prepolímero que se comenta brevemente a continuación: en primer lugar se efectúa la poliadición entre el IPDI y los polioles a 80°C y atmósfera de nitrógeno. Una vez alcanzado el índice de NCO teórico (determinado por el método de la dibutilamina), se enfría la mezcla de reacción a 40°C y se añade la TEA para neutralizar el prepolímero. A continuación, el prepolímero se dispersa en agua y seguidamente se procede a realizar el alargamiento de cadena dosificando la EDA. Finalmente se obtiene una dispersión tindall de poliuretano/poliurea, con un contenido en sólidos del 35%. La ruta sintética se muestra en la figura 1.

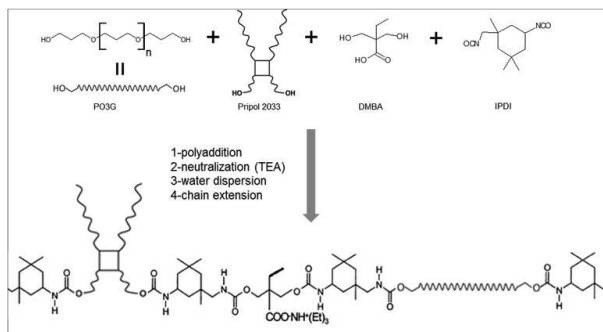


Figura 1. Esquema de síntesis de poliuretano Bio-basado.

Caracterización estructural

La caracterización estructural de poliuretano Bio-basado se realizó mediante FTIR, ¹H-RMN y ¹³C-RMN. Para realizar una mejor asignación de las señales de RMN se caracterizaron también los building-blocks de partida (Pripol 2033 y PO3G) y, en el caso de poliuretano final, se realizaron los espectros bidimensionales de correlación protón-protón (COSY) y la secuencia multipulso DEPT135. En la figura 2 se muestran las principales asignaciones ¹H-RMN para el poliuretano sintetizado. Los polioles de partida presentan señales de los metilenos unidos a hidroxilo (δ = 3.76 ppm), en el PU final dichas señales se ven desplazadas a desplazamientos

mayores debido a la formación de enlaces uretano ($\delta=4.01\text{ppm}$), ello es un indicativo claro de la correcta formación de poliuretano.

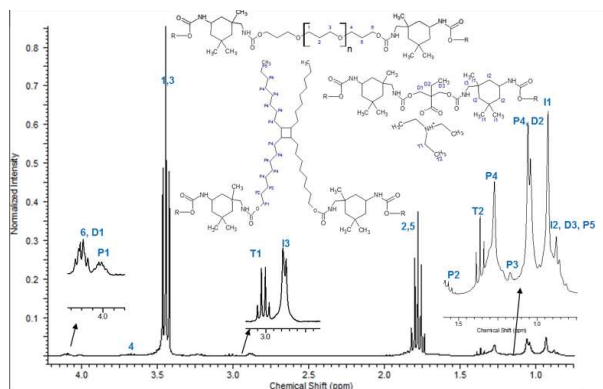


Figura 2. ^1H -RMN del poliuretano sintetizado y principales asignaciones.

Propiedades térmicas

Para el estudio de las propiedades térmicas, en primer lugar se estudió la estabilidad térmica mediante TGA del poliuretano sintetizado PUD_VI5 así como de los poliuretanos convencionales C80, C85 y RD 27, empleando un equipo de análisis termogravimétrico Mettler Toledo TGA2. El análisis termogravimétrico consistió en registrar la pérdida de peso de las muestras sometidas a un gradiente de temperatura desde 25°C hasta 600°C a $10^\circ\text{C}/\text{min}$., en atmósfera de nitrógeno (figura 3, tabla 1). El estudio de TGA pone de manifiesto las excelentes propiedades térmicas del poliuretano bio-basado, a juzgar por las elevadas temperaturas de inicio de descomposición y de máxima velocidad de descomposición. Adicionalmente se realizó un estudio de calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las muestras PUD_VI5 y RD27 (figura 4), al ser este último el PU con propiedades mecánicas (ver siguiente apartado) y TGA más similar al sintetizado por nosotros. La técnica DSC nos permitió determinar las temperaturas de transición vítrea de ambas muestras y verificar la ausencia de picos de fusión-cristalización, demostrando que se trata de polímeros esencialmente amorfos. Para ello se utilizó un equipo DSC Perkin Elmer modelo Pyris I con una primera rampa de 25 a 200°C para borrar historia térmica seguida de sucesivas rampas de enfriamiento-calentamiento.

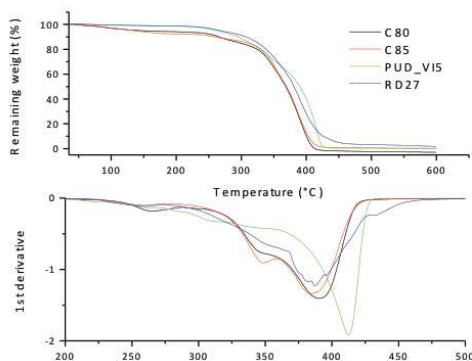


Figura 3: curvas TGA y primeras derivadas

Tabla 1: resumen de los valores obtenidos por TGA. Onset 5% (temperatura a la que se ha alcanzado el 5% de pérdida de peso), Onset 10% (temperatura a la que se ha alcanzado el 10% de pérdida de peso), temperatura a la que se alcanza la máxima descomposición térmica, peso residual a 600°C .

	ONSET 5% ($^\circ\text{C}$)	ONSET 10% ($^\circ\text{C}$)	1º MAX. DESCOMP ($^\circ\text{C}$)	PESO RESIDUAL 600°C (%)
POD VI-5	263	295	413	0,2
C80	149	266	387	0,0
C85	136	260	352	0,0
HD27	268	308	387	1,8

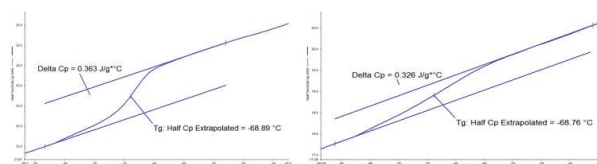


Figura 4. Curvas DSC en la zona de la Tg del poliuretano bio-basado PUD_VI5 (izquierda, $T_g=-68.9^\circ\text{C}$) y del poliuretano convencional RD27 (derecha, $T_g=-68.8^\circ\text{C}$)

Propiedades mecánicas

Con el objetivo de realizar una comparativa del poliuretano bio-basado obtenido con algunos PU convencionales ampliamente utilizados en el mercado de recubrimientos textiles, se realizaron ensayos de tracción deformación. Los ensayos se realizaron siguiendo el estándar BS ISO 37:2005, se empleó el equipo Zwick/Roell modelo 500N. Las condiciones de los ensayos fueron las siguientes: precarga 0.1 MPa , velocidad de precarga $1\text{ mm}/\text{min}$, velocidad de ensayo $50\text{ mm}/\text{min}$. Los films de los distintos poliuretanos se obtuvieron por evaporación de las respectivas dispersiones sobre petris teflonadas a 25°C y posterior curado de 3 días a 60°C . Las probetas tipo 4 se obtuvieron con un troquel cuyas dimensiones se resumen en la figura 5. Los parámetros característicos medidos fueron: módulo elástico (E), tensión a rotura (σ_b), deformación a rotura (ϵ_b), tensión a un % de deformación determinado (100% , 200% , 300%).

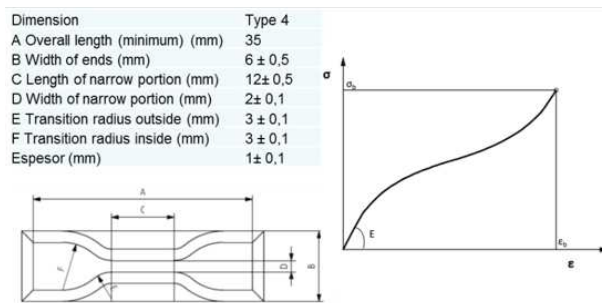


Figura 5. Izquierda, equipo utilizado. Centro, dimensiones del troquel para la obtención de las probetas tipo 4 empleadas en este ensayo. Derecha, gráfico genérico de

tracción deformación con los parámetros característicos (módulo elástico, tensión a rotura, deformación a rotura).

En la tabla 2 se muestran los parámetros característicos obtenidos en los ensayos de tracción-deformación, puede observarse como el poliuretano bio-basado obtenido (PUD_VI5) presenta un módulo elástico y una elongación a rotura superior a la del resto de PU convencionales testados. Tal y como se observa en las gráficas de tensión-deformación representadas en la figura 6, la resiliencia del PU bio-basado es elevada. De todo ello puede concluirse que las propiedades mecánicas del ensayo PUD-VI5 son excelentes. Basándonos en los resultados de propiedades mecánicas, seleccionamos el poliuretano RD27 (convencional) para realizar los ensayos comparativos de presión hidrostática (ver los siguientes apartados), descartando el resto de poliuretanos convencionales debido a que presentan una elongación y resiliencia notablemente inferiores a PUD_VI5.

Tabla 2: parámetros característicos obtenidos en los ensayos de tracción-deformación (n es el número de probetas ensayadas para cada muestra).

	E (Mpa)	σ (100 %) (Mpa)	σ (200 %) (Mpa)	σ (300 %) (Mpa)	σ_B (Mpa)	ϵ_B (%)
R47 (n=3)	3,2	0,8	1,0	1,2	2,4	771,2
C85 (n=3)	3,5	0,8	1,1	1,4	3,5	930,4
C80 (n=3)	10,1	3,1	4,6	6,0	13,2	683,0
RD27 (n=5)	19,2	4,4	6,1	8,3	37,6	846,2
POD VI-5 (n=5)	23,5	3,2	4,3	5,4	42,9	1160,6

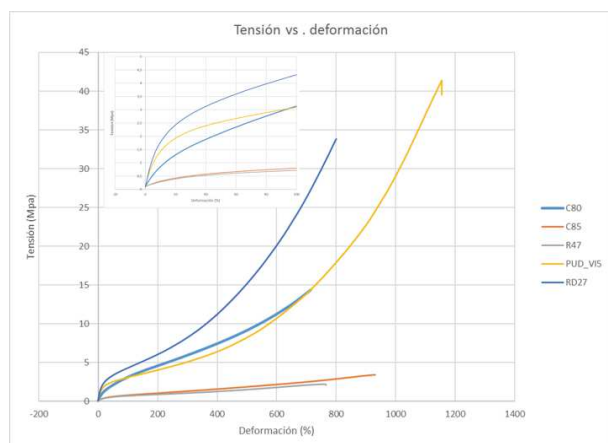


Figura 6: gráficas de tensión-deformación. En la parte superior izquierda se muestra ampliada la zona de comportamiento elástico. PUD_VI5 (poliuretano bio-basado sintetizado), el resto de curvas corresponden a poliuretanos no bio-basados ampliamente utilizados en el sector de recubrimientos textiles, por confidencialidad no se muestran los nombres comerciales sino las codificaciones (C80, C85, R47, RD27).

Propiedades aplicativas

Para evaluar las propiedades aplicativas del poliuretano bio-basado se decidió realizar un acabado técnico sobre tejido de exterior, para ello se seleccionó un tejido de toldo 100% PAN (acrílico) previamente hidrofugado. Sobre dicho tejido se efectuó un recubrimiento a rasqueta por una cara con el poliuretano PUD_VI5 y también con el PU convencional RD27 (que es el más similar en cuanto a propiedades mecánicas), con el objetivo de obtener sendas membranas de poliuretano que confirieran al tejido la propiedad de resistir una columna de agua determinada (presión hidrostática), evitando de esta forma que el agua atravesase de una cara a otra del tejido. Esta característica es imprescindible para artículos textiles de exterior como toldos o carpas. La medición de la columna de agua que resiste tanto el tejido de partida como los tejidos recubiertos se realizó siguiendo el estándar EN 20811.

En la tabla 3 se resumen las características del tejido de partida (gramaje, columna de agua inicial) así como la formulación empleada para efectuar el recubrimiento de PU. En la figura 7 se muestran algunas fotografías de proceso de recubrimiento y posterior medición de la columna de agua.

Tabla 3. Parte superior: características iniciales del tejido seleccionado para este estudio. Dado que PUD_VI5 tiene un 35% de sólidos y RD27 un 40%, se ajustó la cantidad de PU en las respectivas pastas para que ambas tuvieran el mismo contenido en sólidos.

CARACTERÍSTICAS TEJIDO INICIAL	Gramaje (g/cm2)	Columna (cm)
Tejido PAN 100% hidrofugado	277,5	35

FORMULACIÓN DE LAS PASTAS DE RECUBRIMIENTO	Formulación 1	Formulación 2
	(ejemplo comparativo)	
	75g HD27	85g PUD_VI5
	1g Antiespumante PM	1g Antiespumante PM
	2g Producto DG	2g Producto DG
Viscosidad (Brookfield RV 6/30) *	15.000cps	16.000cps
*La viscosidad se ha ajustado empleando un espesante asociativo: 1g DMEA/3.5 g Producto L-120		



Figura 7: proceso de recubrimiento y posterior medición de la columna de agua según estándar EN 20811.

Se realizaron 2 recubrimientos para cada poliuretano, uno aplicando 1 capa simple (coating x1) y otro aplicando 2 capas consecutivas (coating x2), realizando el proceso de secado y curado correspondiente entre capa y capa (secado 2 min 120°C, curado 2 min. 160°C). En la tabla 4 se muestran los g/m² depositados en seco para cada tejido, así como los correspondientes valores de columna de agua obtenidos.

Tabla 4: izquierda valores de columna de agua obtenidos, derecha g/m² depositados en seco sobre cada tejido.

	Columna (cm) coating x1	Columna (cm) coating x2	Depositación en seco x1 (g/cm ²)	Depositación en seco x2 (g/cm ²)
Form. 1 (RD27)	90	171	37,5	58,5
Form. 2 (PUD_VI5)	96	177	35,5	61,5

En la figura 8 se han graficado los valores de columna obtenidos para los tejidos recubiertos con el poliuretano convencional RD27 y con el poliuretano bio-basado (PUD_VI5). Puede observarse cómo ambos PU ofrecen unas prestaciones similares, alcanzando columnas de agua cercanas a 1 metro en el caso de 1 capa y comunas cercanas a 2 metros en el caso de dos capas.

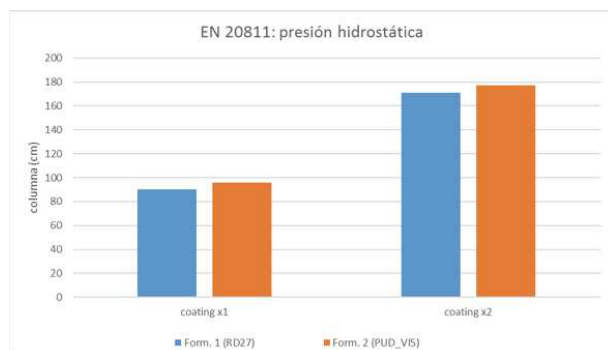


Figura 8: valores de columna de agua obtenidos para los tejidos recubiertos con el poliuretano convencional RD27 y con el poliuretano bio-basado PUD_VI5

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha puesto a punto la síntesis de un poliuretano en dispersión acuosa (WPU) bajo estrictos criterios de sostenibilidad y ECO-diseño. El poliuretano obtenido tiene un contenido en building-blocks bio-basados cercano al 70%, presentando una huella de carbono mucho más favorable que los poliuretanos convencionales empleados en el sector de recubrimientos textiles. El WPU sintetizado ofrece unas excelentes propiedades mecánicas, térmicas y aplicativas, que igualan y superan en algunos casos a las de los WPU convencionales. De esta forma se pone de manifiesto la viabilidad técnica de este tipo de dispersiones poliméricas.

Sin duda la síntesis de dispersiones poliméricas base a agua empleando building-blocks bio-basados, catalizadores exentos de estaño y con ultra-bajo contenido en volátiles (VOC), es un campo de investigación muy prometedor que va cobrando importancia a medida que aumenta la disponibilidad en el mercado de nuevos building-blocks bio-basados. Así pues, es previsible que en los próximos años el sector de recubrimientos textiles se vea beneficiado por los avances producidos en este campo.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de Color Center, S.A. agradece a Allessa GmbH, Croda Iberica y Evonik Industries AG el suministro de las muestras que han hecho posible este trabajo. Al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) por cofinanciar el proyecto ECO-PUD, el cual ha posibilitado la realización del presente trabajo. A Hector Linuesa de Leitat Technological Center por formar al equipo técnico de Color Center en la química de los poliuretanos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Poussard L, Lazko J, Mariage J, Raquez JM, Dubois P. Biobased waterborne polyurethanes for coating applications: How fully biobased polyols may improve the coating properties. Prog Org Coatings. 2016;97:175-183. doi:10.1016/j.porgcoat.2016.04.003
2. Hirth T. Introduction to Chemicals from Biomass. Wiley Series in Renewable Resources. Herausgegeben von James Clarkund Fabien Deswarte. Angew Chemie. 2009;121(48):9186.
3. Noreen, Aqdas & Mahmood Zia, Khalid & Zuber, Mohammad & Tabasum, Shazia & Zahoor, Ameer Fawad. (2016). Bio-based polyurethane: An efficient and environment friendly coating systems: A review. Progress in Organic Coatings. 91. 25-32. 10.1016/j.porgcoat.2015.11.018.
4. Harmer MA, Confer DC, Hoffman CK, et al. Renewably sourced polytrimethylene ether glycol by superacid catalyzed condensation of 1,3-propanediol. Green Chem. 2010;12(8):1410-1416. doi:10.1039/c002443k
5. Pripol 2033 I Croda Coatings & Polymers. https://www.crodacoatingsandpolymers.com/en-gb/products-and-applications/product-finder/product/212/Pripol_1_2033. Accessed June 11, 2019.
6. Dieterich D. Aqueous emulsions, dispersions and solutions of polyurethanes; synthesis and properties. Prog Org Coatings. 1981;9(3):281-340. doi:https://doi.org/10.1016/0033-0655(81)80002-7

